

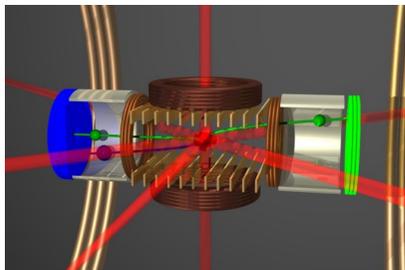
Ein Detektor mit atomarer Auflösung – das Reaktionsmikroskop

Ziel ist es, genaue Einblicke in Stoßprozesse und die durch sie ausgelösten atomaren oder molekularen Reaktionen zu erhalten. Dies gelingt in unseren Experimenten durch Messen der Impulse, also der Geschwindigkeiten und Flugrichtungen aller atomaren Bruchstücke. Dazu werden die negativ geladenen Elektronen und die positiven Ionen mittels eines elektrischen Feldes in entgegengesetzte Richtungen beschleunigt und beim Auftreffen auf zwei Detektoren nachgewiesen. Dabei hilft ein zusätzlich überlagertes Magnetfeld, alle Elektronen, die wegen ihrer kleinen Masse relativ schnell sind, zu fangen und auf einer Schraubenbahn zum Detektor zu führen. Es ist dann möglich, aus den gemessenen Einschlagorten und den Flugzeiten auf die Anfangsimpulse der Teilchen zu schließen. Nach der Messung sehr vieler Stöße erhält man ein genaues Bild der Geschwindigkeits- und Richtungsverteilung der atomaren oder molekularen Fragmente.

Ultrakalte Dynamik

Durch Laserkühlung können sehr kalte atomare Gase mit Quanteneigenschaften erzeugt werden. Die von uns benutzten Lithiumatome zeigen dabei, je nachdem wie ihre gegenseitige Wechselwirkung eingestellt wird, unterschiedliches Verhalten. Sie können z. B. schwach gebundene Atompaare bilden, deren Abstand experimentell kontrollierbar ist. Mit unserem Reaktionsmikroskop wollen wir diese exotische Materieform untersuchen. Z. B. lässt sich durch Ionisation aller Atome in gebunden Paaren oder Mehrteilchensystemen und die Bestimmung aller Ionenimpulse auf die anfängliche räumliche Konfiguration der Teilchen schließen. Die

Ionisation erfolgt dabei praktisch instantan durch einen intensiven Femtosekunden-gepulsten Laserstrahl. Interessant ist auch, ob und wie der Quantenzustand des Gases die Ionisationsdynamik beeinflusst.



Laserkühlung von Atomen in einer magneto-optischen Falle in einem Reaktionsmikroskop.

Ansprechpartner:

PD Dr. Alexander Dorn
Tel: 06221 516513
E-Mail: alexander.dorn@mpi-hd.mpg.de

Prof. Dr. Thomas Pfeifer
Tel: 06221 516380
E-Mail: thomas.pfeifer@mpi-hd.mpg.de



Atome und Moleküle unter Beschuss

Von Elektronen-Atom- Stößen zu Grundlagen der Tumorthherapie

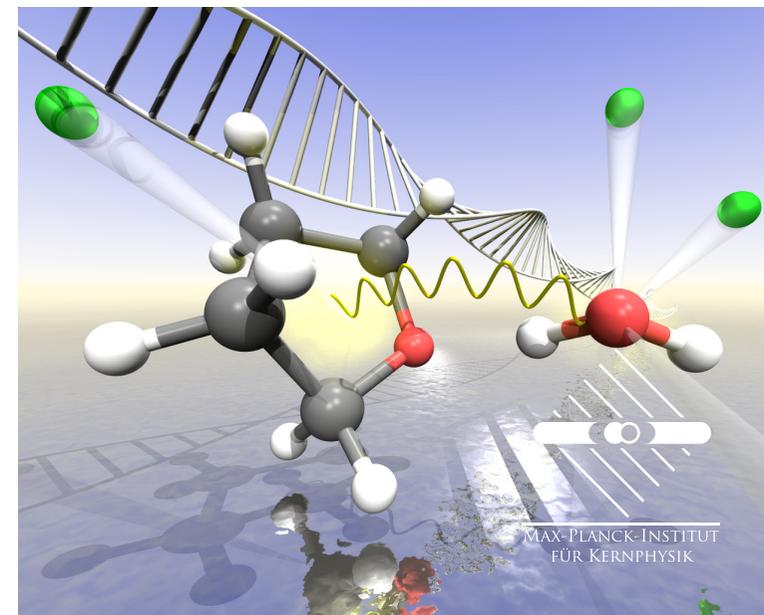


Saupfercheckweg 1
69117 Heidelberg

www.mpi-hd.mpg.de



Das Max-Planck-Institut für Kernphysik (MPIK) ist eines von 86 Instituten und Forschungseinrichtungen der Max-Planck-Gesellschaft. Das MPIK betreibt experimentelle und theoretische Grundlagenforschung auf den Gebieten der Astroteilchenphysik und der Quantendynamik.



MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KERNPHYSIK

Atome und Moleküle unter Beschuss Von Elektronen-Atom-Stößen zu Grundlagen der Tumorthherapie

Stöße von Elektronen mit Atomen und Molekülen sind in unserer Umwelt allgegenwärtig und spielen auch eine wichtige Rolle in Technik und Medizin. Im Labor untersuchen wir diese Ionisationsprozesse in größtmöglichem Detail, indem wir alle geladenen Bruchstücke – also Elektronen und Ionen – mit einem Reaktionsmikroskop nachweisen. Die Stoßpartner reichen von einfachen Atomen für grundlegende Studien bis zu organischen Molekülen wie Bausteinen der DNA.

Elektronen-Stöße in der Natur, der Anwendung ...

Reaktionen, die durch den Stoß von energetischen Teilchen mit Atomen und Molekülen verursacht werden, sind in vielen Bereichen der Natur, der Technik und der Medizin wichtig. So regen in Gewitterblitzen und in Leuchtstoffröhren Stöße mit schnellen Elektronen Atome zum Leuchten an. In der Tumorthherapie zerstören Röntgenstrahlen oder schnelle Ionen Krebszellen. Im Heidelberger Ionenstrahl-Therapiezentrum (HIT) werden Patienten mit Ionenstrahlen aus Protonen oder Kohlenstoffionen behandelt. Bei beiden Therapiemethoden erzeugen die eingeschossenen Röntgen- oder Ionenstrahlen im Gewebe eine große Zahl von freien Elektronen. Diese können das DNA-Molekül, das die Erbinformation der Zelle trägt, sehr effektiv zerstören.

... und auf atomarer Ebene

Was aber geschieht auf mikroskopischer Ebene, wenn schnelle geladene Teilchen wie Elektronen ein Gas oder Gewebe durchdringen? Dieser Fragestellung gehen wir nach, indem wir Stöße zwischen Elektronen und einzelnen Atomen, den Bausteinen der Materie, untersuchen. Eine wichtige Reaktion ist dabei die Stoßionisation, bei der anfänglich im Atom gebundene Elektronen herausgeschlagen werden. Unsere Experimente beantworten dabei folgende Fragen: Wie schnell und in welche Richtungen fliegen die freigesetzten Elektronen davon? Wie häufig werden zwei, drei oder mehr Elektronen aus einem Atom herausgeschlagen? Welche Rolle spielt dabei der Atomkern?

Das Vielteilchen-Problem

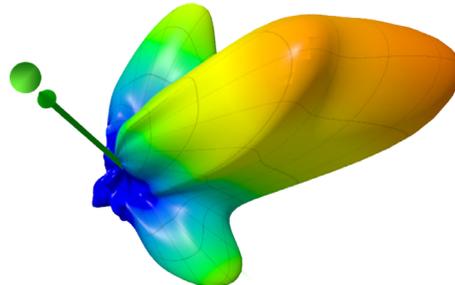
Ähnlich wie die Planeten um die Sonne kreisen, bewegen sich die Elektronen in einem Atom um den Kern, wobei alle Teilchen durch ihre elektrische Ladung miteinander wechselwirken.

Die Quantentheorie, die bereits in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts formuliert wurde, beschreibt die Bewegung der atomaren Bausteine. Doch obwohl diese Theorie inzwischen in zahlreichen Experimenten bestätigt wurde und die Kräfte zwischen den Teilchen sehr genau bekannt sind, lässt sich lediglich für das einfachste Atom (bestehend aus einem Kern und einem Elektron) eine exakte Lösung finden. Sobald mehr als zwei Teilchen beteiligt sind, muss man sich entweder mit Näherungen begnügen oder computergestützte, rechenintensive Verfahren anwenden. Um die Gültigkeit dieser Näherungen zu prüfen, ist ein Vergleich mit experimentellen Messungen unverzichtbar.

Dynamik in Stößen

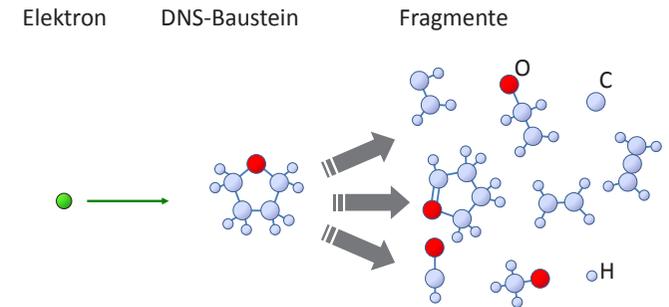
Im Gegensatz zur Bewegung von Planeten kann man die Elektronen in einem Atom nicht direkt beobachten. Ein Trick hilft hier weiter: Man beschießt einzelne Atome mit Elektronen und selektiert solche Stöße, bei denen ein oder mehrere atomare Elektronen herausgeschlagen werden. Die Energien und Richtungen der davonfliegenden Elektronen geben Information über deren Bewegung vor dem Stoß, also über den gebundenen atomaren Zustand.

Außerdem untersuchen wir auch Stöße zwischen Elektronen und Molekülen zunehmender Größe. Hier konnten wir erstmals beobachten, wie die räumliche Struktur und Ausrichtung eines Moleküls die Richtung der herausgeschlagenen Elektronen beeinflusst.



Richtungsverteilung der davonfliegenden Elektronen in Elektronen-Atom-Stößen. Blau/orange entsprechen geringer/hohere Wahrscheinlichkeit für Emission in die entsprechende Richtung.

Im Stoß kann das Molekül auch in mehrere Bruchstücke zerbrechen. In biologischem Gewebe spielt dieser Prozess die entscheidende Rolle, da z. B. das DNA-Molekül, das die Erbinformation einer Zelle trägt, verändert oder zerstört werden kann. Wir untersuchen, wie sich die Bausteine der DNA verhalten, wenn sie von Elektronen getroffen werden, indem wir die Bruchstücke nachweisen. Das Endprodukt hängt davon ab, welches der molekularen Elektronen herausgeschlagen wird. Die Ergebnisse könnten dabei helfen, sowohl die Entstehung von Tumoren als auch ihre Zerstörung mittels der Strahlentherapie besser zu verstehen.



Nachgewiesene Bruchstücke beim Beschuss von Tetrahydrofuran mit energetischen Elektronen.

Als besonders interessant erwiesen sich in jüngster Zeit Reaktionen, die durch die Einbettung der Moleküle z. B. in eine natürliche Umgebung aus Wasser ermöglicht werden. Es zeigte sich, dass einzelne Wassermoleküle das Zerbrechen molekularer Ringe wie Tetrahydrofuran fördern (Titelbild). Wird dabei zuerst das Wassermolekül ionisiert, folgt Energietransfer auf das organische Molekül, das Elektronen verliert und zerbrechen kann. Die freigesetzten Elektronen sind immer noch energetisch genug, um weitere Schäden anzurichten.

Wird das Tetrahydrofuran-Molekül direkt getroffen, hängt sein Schicksal von der übertragenen Energie und seiner Nachbarschaft ab: ist nur ein Wasser-Molekül anwesend, katalysiert dieses den Ringaufbruch. Interessanterweise erfolgt diese Zerstörung nicht, wenn mehrere Wassermoleküle gebunden sind, weil sich die Energie über viele Moleküle verteilen kann und dies eine effektive Kühlung darstellt. Die lokale wässrige Umgebung von Biomolekülen wirkt also als Schutzschild.